



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**HYDRAULICKÉ ŘAZENÍ PŘEVODOVÝCH STUPŇŮ
FORMULE STUDENT**

HYDRAULIC SHIFTING ACTUATION FOR FORMULA STUDENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Belza

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Michal Belza**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Michal Janoušek, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Hydraulické řazení převodových stupňů Formule Student

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte návrh řešení hydraulického ovládání řazení převodových stupňů pro vozidlo Formule Student včetně hydraulického ovládání spojky.

Cíle bakalářské práce:

Proveďte rešerši používaných konstrukčních řešení.

Navrhněte vhodný systém hydraulického řazení převodových stupňů.

Navržený systém porovnejte s aktuálně používaným pneumatickým systémem z hlediska funkce a hmotnosti.

Seznam doporučené literatury:

FISHER, Robert, KUCUKAY, Ferit, JURGENS, Gunte, NAJORK, Rolf a POLLAK, Burhard. The Automotive Transmission Book. 2015. Graz: Springer, 2015. ISBN 978-319052632.

2017-18 Formula SAE Rules. September 2, 2016. Michigan: SAE International, 2016, 175 s. Rev A. Dostupné také z: <http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>

Formula Student Germany All FSAE Teams. Formula Student Germany [online]. 2016 [cit. 2016-0-29]. Dostupné z: <http://www.formulastudent.de/fsc/>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá možností aplikace hydraulického řazení a ovládání spojky na vozidle Formule Student. Práce srovnává navržený systém s ostatními systémy používanými ve Formuli Student, především z hlediska úspory hmotnosti, možností zástavbového prostoru a vlivu na chování vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řazení převodových stupňů, ovládání spojky, hydraulický systém, hydraulický ventil, násobič tlaku, Formule Student

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with application of hydraulic control system in Formula Student vehicle shifting and clutch system. The work compares developed design with design solutions commonly used in Formula Student vehicles from the perspective of weight reduction, assembly size minimization and improvement of vehicle performance.

KEYWORDS

Shifting, clutch control, hydraulic system, hydraulic valve, pressure multiplier, Formula Student

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BELZA, M. *HYDRAULICKÉ ŘAZENÍ PŘEVODOVÝCH STUPŇŮ FORMULE STUDENT*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 48 s. Vedoucí diplomové práce Michal Janoušek

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Janouška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2018

.....

Michal Belza

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Janouškovi Ph.D. za trpělivost při tvorbě práce a znalosti, které mi v průběhu celého roku předal. Dále bych chtěl poděkovat týmu TU Brno Racing za možnosti, které mi otevírá. Velký díky patří také mé rodině, která mne po celou dobu studia podporovala.

OBSAH

Úvod	10
1 Formule Student	11
1.1 Historie.....	11
1.2 Závody	11
1.3 Tým TU Brno Racing	12
2 Ovládání řazení převodových stupňů	13
2.1 Převodovka a stávající princip řazení	13
2.2 Ovládání řazení	16
2.2.1 Výhody a nevýhody stávajícího řešení	17
2.2.2 Mechanismy řazení využívané ve Formuli Student	18
3 Návrh ovládání řazení.....	20
3.1 Schéma systému.....	20
3.2 Řadicí síla	21
3.2.1 Provozní kapalina a tlak	21
3.2.2 Ventily	24
3.2.3 Výpočet průtoku ventilem	25
3.2.4 Násobič tlaku	27
3.2.5 Píst	28
3.2.6 Výpočet řadicího času	28
3.3 Konstrukční návrh.....	30
3.3.1 Vstupní parametry	30
3.3.2 Model.....	30
3.3.3 Hmotnost	31
4 Ovládání spojky.....	32
4.1 Stávající řešení	32
4.1.1 Výhody a nevýhody stávajícího řešení	33
4.1.2 Využívaná řešení ve Formuli Student	33
5 Návrh ovládání spojky.....	34
5.1 Ovládací síla	34
5.1.1 Provozní kapalina a tlak	34
5.2 Schéma systému ovládání spojky	35
5.2.1 Třicestný ventil	36
5.2.2 Víčko spojky.....	36
5.2.3 Násobič tlaku	37
5.2.4 Rychlost reakce spojky	38

5.3	Konstrukční návrh.....	39
5.3.1	Zadané parametry	39
5.3.2	Model.....	39
5.3.3	Hmotnost	40
6	Umístění systémů na vozidle	41
6.1	Propojení systémů.....	41
6.2	Porovnání zástavby systému	42
6.3	Porovnání hmotností systému	43
	Závěr.....	44
	Seznam použitých zkratk a symbolů	47

ÚVOD

Formule Student je soutěž univerzitních týmů, které mají za úkol každý rok postavit nové závodní vozidlo formulového typu. Na konstrukční návrh vozidla je vyčleněna pouze krátká část roku¹. V takto krátkém časovém období bohužel nezbývá mnoho času, věnovat se do maximální podrobnosti všem součástkám vozidla. Proto mohou být opomíjeny některé zajímavé možnosti, méně klíčových systémů.

Práce vzniká v prostředí týmu TU Brno Racing, který v akademickém roce 2017/18 staví již své osmé vozidlo. V posledních letech nebyl kladen důraz na vývoj ovládání řazení a spojky.

Těmito systémy má smysl se zabývat, protože přímo ovlivňují rychlost a stabilitu vozidla na trati. Zároveň se jedná o systémy, kde lze pouze drobnými úpravami zbytku vozidla dosáhnout významné úspory hmotnosti.

Proto je cílem práce prostudovat možnosti ovládání řazení převodových stupňů a kontroly ovládání spojky. Dále provést rozbor toho, jak na danou problematiku nahlízejí jiné týmy Formule Student a zjistit, jaké výhody, případně nevýhody, může přinést změna těchto součástí vozidla.

Dalším z cílů práce je navrhnout systém ovládání řazení a spojky. Ten pak porovnat s momentálně používaným konstrukčním řešením a vyhodnotit, zda je výhodné měnit stávající způsob ovládání.

¹ Vývojová fáze probíhá přibližně od září do listopadu

1 FORMULE STUDENT

Formule Student je soutěž technických vysokých škol ve stavbě vozu formulového typu. V rámci projektu se učí studenti, jak uplatnit své znalosti získané studiem na řešení problému stavby závodního monopostu. Nejde však o samotné konstrukční řešení, ale i o způsob zajištění financování, výroby, montáže a testování v krátkém časovém úseku, který musí být efektivně zorganizován. To vše se pak na závodech hodnotí rozhodčími v jednotlivých disciplínách.

1.1 HISTORIE

Formule Student vznikla jako Formula SAE ve Spojených státech amerických v roce 1981 pod záštitou sdružení SAE². Pro evropskou scénu je pak důležitý rok 1998, kdy proběhl první závod v Evropě. Konkrétně pak ve Velké Británii, ve Warwickshiru, na testovacím polygonu MIRA. Zde soutěžily tři americké a čtyři britské týmy. [1]

Roku 2005 se konal první ročník závodu Formula Student Germany. Ten se postupem času stal neoficiálním mistrovstvím světa, a to především díky účasti nejprestižnějších týmů, dobré organizaci a inovativnímu přístupu. Díky tomuto přístupu se právě v Německu jela poprvé nová kategorie vozů s elektrickým pohonem (rok 2010) a kategorie autonomních vozů (rok 2017). [2], [3].

V roce 2017 také vznikla speciálně upravená pravidla celé soutěže Formule Student pro závod v Německu. Tato pravidla byla rychle převzata ostatními významnými závody v Evropě, a proto se jich drží evropské týmy při návrhu svého monopostu. [2]

1.2 ZÁVODY

Samotné závody trvají zpravidla 4 dny, protože v rámci soutěže Formule Student se každý tým účastní několika disciplín. Tyto disciplíny se dělí na statické, kde tým prezentuje výsledky své práce v různých oborech, a dynamické, kde záleží především na výkonu auta a řidiče.

Ve statických disciplínách se hodnotí:

- **Engineering Design:** technické řešení a koncepci vozu
- **Cost and Manufacturing:** cenová studie vozu a způsob, jakým je vozidlo vyrobeno
- **Business Plan Presentation:** představení ekonomické studie prodeje vozu
- **Scrutineering:** kontrola vozidla, zda splňuje pravidla. (bez ní nelze vstoupit do dynamických disciplín)

² SAE – Society of Automotive Engineers – profesní sdružení odborníků věnujících se problematice mobility

Dynamické disciplíny se skládají z:

- **Acceleration:** zrychlení na dráze dlouhé 75 m
- **Skidpad:** dvě pravotočivá a dvě levotočivá kola o poloměru přibližně 9 m.
- **Autocross:** nejrychlejší kolo na trati o délce 1 km
- **Endurance:** vytrvalostní závod na 22 km s výměnou řidičů po 11 km
- **Efficiency:** spotřeba paliva během závodu Endurance

Za každou disciplínu může tým získat určitý počet bodů. Součet bodů z jednotlivých disciplín pak určuje celkové pořadí. [4]

Tabulka 1: bodování disciplín Formule Student [4]

Engineering Design Event	150 bodů
Cost and Manufacturing Event	100 bodů
Business Plan Presentation Evenz	75 bodů
Acceleration	75 bodů
Skidpad	75 bodů
Autocross	100 bodů
Endurance	325 bodů
Efficiency	100 bodů
Součet	1000 bodů

1.3 TÝM TU BRNO RACING

TU Brno Racing je tým Formule Student působící na brněnském VUT od školního roku 2010/11. Jednotlivé modely mají vždy označení podle bájného brněnského draka Dragon s pořadovým číslem. V sezoně 2017/18 tedy staví tým svůj osmý monopost, Dragon 8.

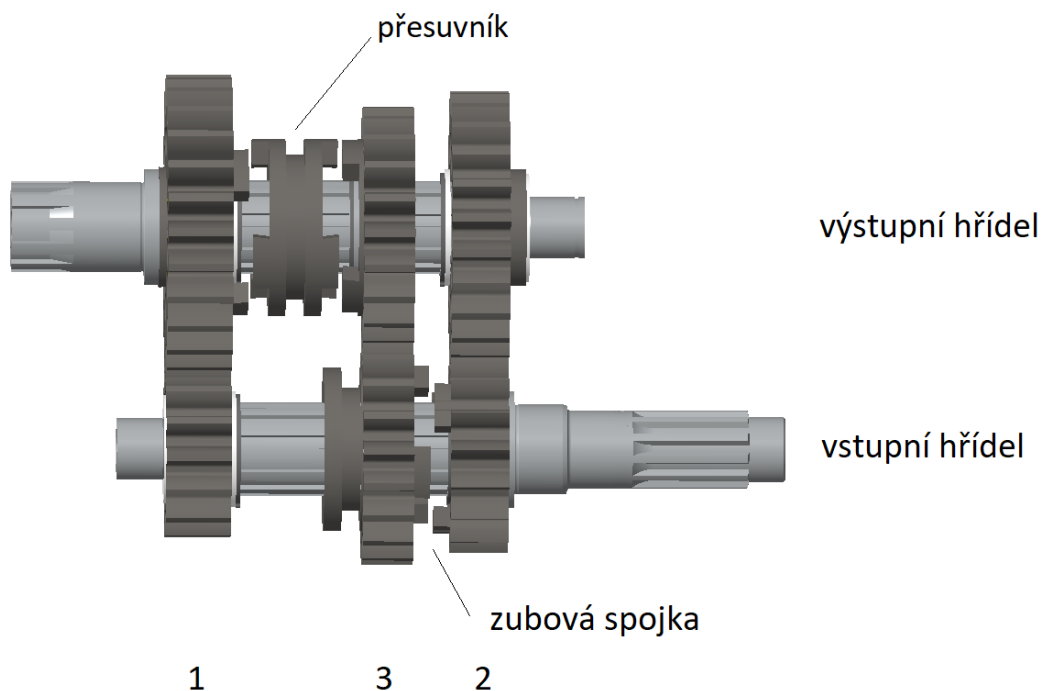
V prvních letech tým sbíral cenné zkušenosti se stavbou formule a vytvořil stabilní základ znalostí, které vedly k odstranění největších technických problémů stavby vozu. Tato základna vědomostí se každým rokem rozšiřuje a pomáhá tak k zdokonalování vozu. Tým se vždy snaží docílit snížení hmotnosti, snížení těžiště a centralizace hmotnosti na vozidle. Tomu napomáhá i fakt, že v soutěži Formule Student není definována minimální hmotnost vozidla. Proto se na vozidle počítá každý gram navíc.

2 OVLÁDÁNÍ ŘAZENÍ PŘEVODOVÝCH STUPŇŮ

2.1 PŘEVODOVKA A STÁVAJÍCÍ PRINCIP ŘAZENÍ

Formule Dragon 8 používá třístupňovou sekvenční převodovku.

Tuto převodovku tvoří tři páry ozubených kol. Vždy jedno kolo z páru je na hřídeli připevněno kluzně a jedno pevně, pomocí drážkování. Na vstupní hřídeli jsou pevně uložena kola pro první a druhý převodový stupeň. Kolo pro třetí převodový stupeň se může na hřídeli otáčet volně. Mimo ozubená kola je na výstupní hřídeli umístěn přesuvník, na kterém jsou umístěny zubové spojky.



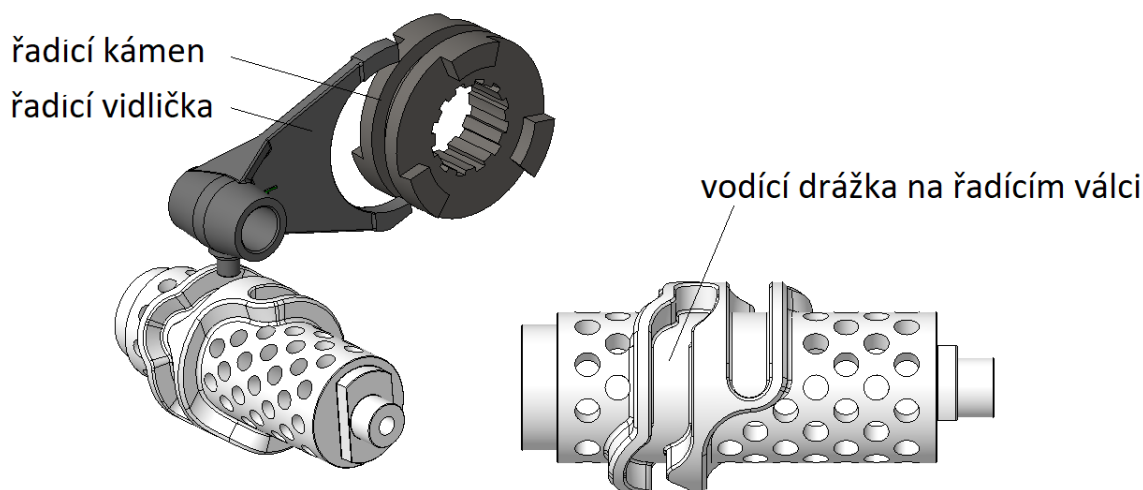
Obrázek 1: třístupňová sekvenční převodovka

Základní polohou sekvenční převodovky je neutrál, kdy není zapojena ani jedna zubová spojka a v každém páru kol je vždy jedno, které se volně otáčí.

Při zařazení prvního rychlostního stupně se posune řadicí kámen vlevo po hřídeli, aby se uzavřela zubová spojka mezi řadicím kamenem a výstupním kolem prvního převodového stupně.

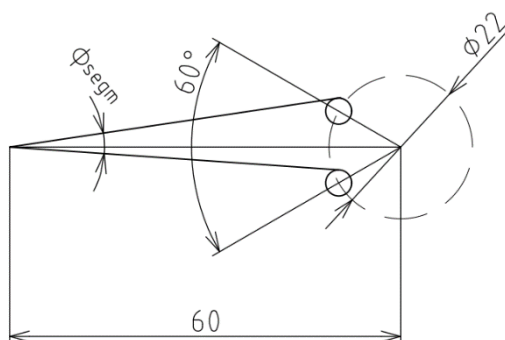
Pro zařazení „dvojky“ přebírá roli řadicího kamene vstupní ozubené kolo třetího převodového stupně. To se zároveň s řadicím kamenem pohybuje vpravo. Tím dojde k uvolnění výstupu „jedničky“ a sepnutí zubové spojky, která je vyznačena na obrázku 1.

Zařazení třetího převodového stupně probíhá tak, že se vstupní kolo „trojky“ přesune zpět, aby bylo proti svému výstupnímu kolu. S tímto pohybem je provázán pohyb řadicího kamene směrem vpravo, čímž se spojí výstupní kolo „trojky“ s výstupní hřídelí a je zařazen třetí rychlostní stupeň.



Obrázek 2: sestava řadicího válce

Pohyb řadicího kamene je realizován pomocí řadicích vidliček, které zapadají do jeho drážek. Ty jsou pak rozpořbovány rotací řadicího válce s příslušnými vodícími drážkami. Na řadicí válec je pak připojena klec, která se pohybuje díky rotaci řadicího segmentu. Klec zároveň umožňuje řadicímu segmentu, vrátit se po otočení řadicího válce zpět do původní polohy. Řadicí páka je pak připevněná k řadicímu segmentu a pouze zvětšuje rameno, na které musí působit síla nutná pro zařazení.



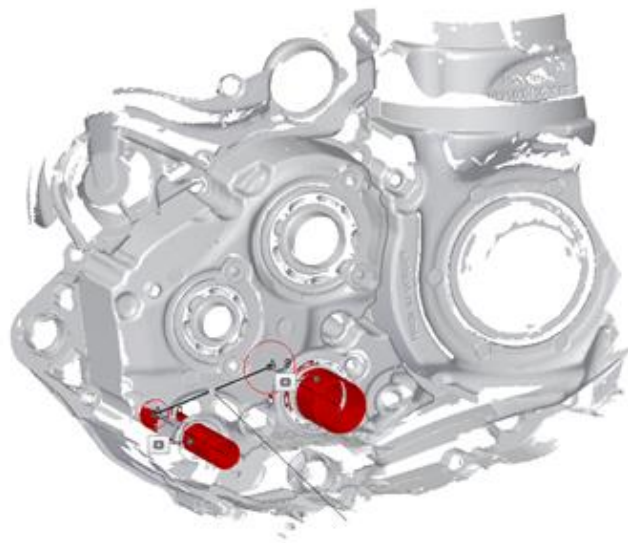
Obrázek 3: schéma pohybu řadicího segmentu

Pro zařazení rychlostního stupně je nutné řadicí válec pootočit o $\varphi_{rv} = 60^\circ$. Na řadicím válci je umístěna řadicí klec s jednotlivými příčkami umístěnými na kružnici o průměru

$D_{klec} = 22 \text{ mm}$. Důležitá pro výpočet je osová vzdálenost mezi řadicím válcem (tedy i klecí) a řadicím segmentem. Ta byla zjištěna pomocí reverzního inženýringu motoru (viz obr. 4). Na 3D scanu motoru byla změřena osová vzdálenost $a_{segm} = 60 \text{ mm}$. Pomocí těchto údajů lze vypočítat úhel otočení řadicího segmentu φ_{segm} , potřebný pro zařazení:

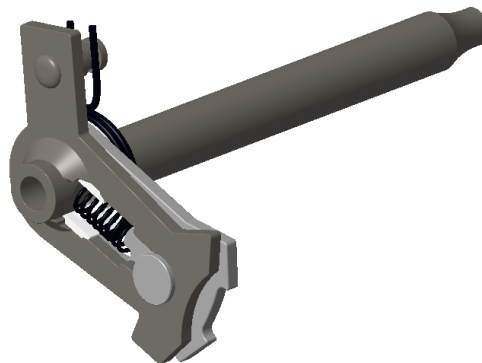
$$\varphi_{rv} \frac{D_{klec}}{2} = \varphi_{segm} \frac{a_{segm}}{2} \quad (1)$$

$$\varphi_{segm} = \frac{\varphi_{rv} D_{klec}}{a_{segm}} = 22^\circ \quad (2)$$



Obrázek 4: 3D scan motoru pro zjištění osově vzdálenosti

Pro zařazení je tedy nutné pootočit řadicím segmentem o 22° . Tento úhel je však pouze pro zařazení jedním směrem (zařazení na vyšší, nebo na nižší převodový stupeň). Pro funkční systém je proto nutné počítat s úhlem 22° symetricky na obě strany. Celkový chod mezi krajními pozicemi je tedy 44° .

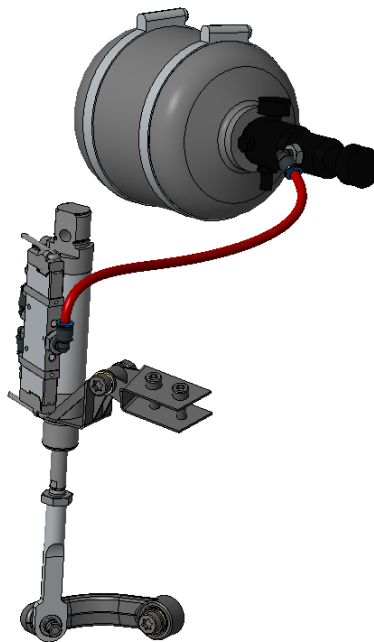


Obrázek 5: řadicí segment

Chod zajišťuje řadicí válec, umístěný na řadicí páce. Řadicí páka vytváří rameno o délce $r_{páky} = 52 \text{ mm}$. Při otočení o úhel potřebný k zařazení $\varphi = 22^\circ$ je posunutí pístu x_{vz_pistu} řadicího válce:

$$x_{vz_pistu} = 2r_{páky} \sin\left(\frac{\varphi_{segm}}{2}\right) = 19,84 \text{ mm} \quad (3)$$

Řadicí válec je ve stávajícím řešení ovládán pneumatickým ventilem. Vstupním médiem pneumatického ventilu je vzduch o tlaku 10 barů, získaný redukcí tlaku vzduchu ze zásobní lahve o tlaku 300 barů.



Obrázek 6: pneumatický systém ovládání řazení

2.2 OVLÁDÁNÍ ŘAZENÍ

Celý proces řazení řídí řídicí jednotka motoru za účelem co nejvyšší rychlosti změny rychlostního stupně.

Poté co řidič zmáčkne řadicí pádlo pod volantem, otevře se pneumatický ventil a začne se pohybovat píst řadicího válce. Jelikož je zubová spojka na ozubených kolech stále sepnutá, začíná se v mechanismu vytvářet předpětí. Toho je využito v okamžiku, kdy se vypne zapalování. V ten moment se prudce sníží krouticí moment motoru a dojde k rozpojení zubové spojky. Díky předpětí je „vyražen“ rychlostní stupeň ze své původní pozice, a za podpory stále se posouvajícího pístu řadicího válce, dojde k zařazení požadovaného rychlostního stupně. Řazení je vyhodnoceno jako úspěšné na základě úhlu, o který se natočil řadicí válec. Ten se neposune o celý krok pouze v případě, kdy do sebe narazí řadicí kameny. V tomto případě dojde k opakování řazení. Ve chvíli, kdy se řadicí válec otočí o celou dráhu je opět sepnuto zapalování.

Řadicí čas aktuálního řešení se pohybuje mezi 80 a 100 ms. Řadicí čas byl analyzován z telemetrie vozu. Tabulka 2 srovnává řadicí časy jednotlivých jízd v disciplíně akcelerace ze závodu v Německu:

Tabulka 2: řadicí časy 4 pokusů při akceleraci na závodech FS Germany

	1	2	3	4
1-2	130 ms	79 ms	106 ms	135 ms
2-3	62 ms	70 ms	67 ms	71 ms

2.2.1 VÝHODY A NEVÝHODY STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ

Pneumatické řazení je spolehlivým mechanismem. V průběhu let byly vyřešeny problémy s kapacitou zásobníku vzduchu a jeho úniky. V neposlední řadě se také podařilo odladit ovládání ventilů. Největší nevýhodou je velký zásobník vzduchu, tlaková lahev. Z toho pramení vyšší hmotnost a nutnost vyhrazení zástavbových prostor nejen pro tlakovou nádobu, ale i pro ventil, válec a rozvod vzduchu.

Tabulka 3: hmotnost pneumického ovládání řazení

Prvek systému	Hmotnost
Tlaková nádoba o objemu 0,8 l s regulátorem	825 g
Třicestný ventil: FESTO s hadicemi	90 g
Řadicí válec FESTO s pístnicí	355 g
Upravená řadicí páka	56 g
Držáky na rám	65 g
Spojovací materiál	72 g
Celkem	1468 g

Z tabulky vyplývá, že více než polovinu hmotnosti celého systému tvoří tlaková nádoba. Proto je v práci dále uvažováno, jakým způsobem je možné realizovat řadicí systém bez externího zásobníku tlakového vzduchu.

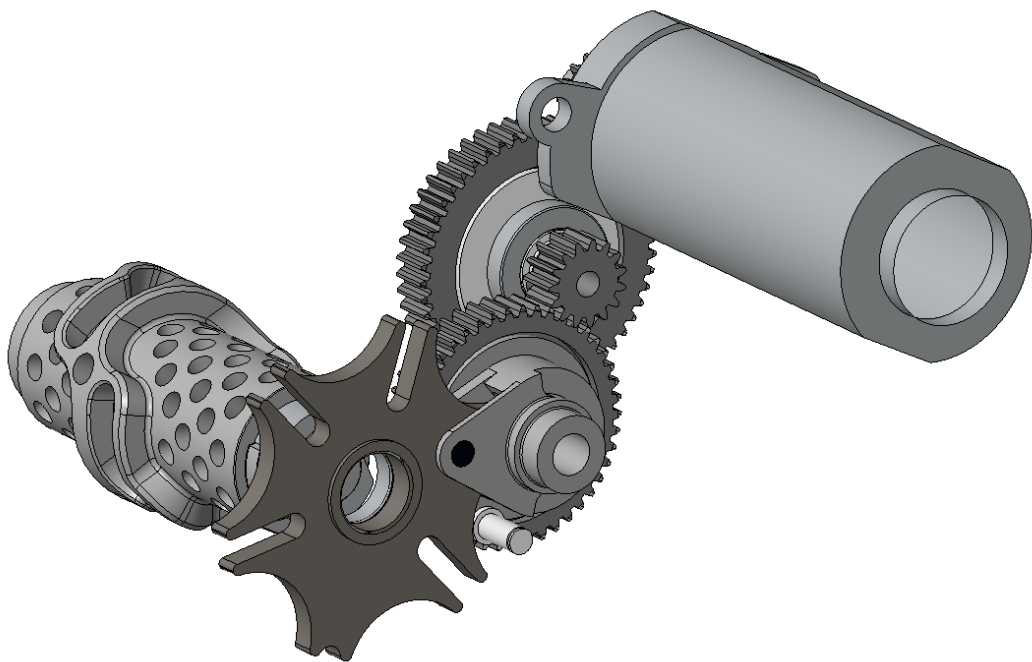
2.2.2 MECHANISMY ŘAZENÍ VYUŽÍVANÉ VE FORMULI STUDENT

Pneumatické řazení je jedním z nejčastějších způsobů, jakým ostatní týmy Formule Student používají. Je však možné se setkat i s jinými systémy.

ELEKTROMOTOR

Jeden ze způsobů řazení je použití servomotoru, který využívá pro řazení převodových stupňů FHWS Schweinfurt. Servomotor, je přes převodovku napojen na strhovací mechanismus maltézského kříže. Maltézský kříž převádí plynulý posuv servomotoru na jednotlivá pootočení řadicího válce sekvenční převodovky.

Mezi nevýhody tohoto řešení patří poměrně vysoká setrvačnost soukolí a vysoká hmotnost systému. Setrvačnost systému se projevuje nejvíce během neúspěšného zařazení, kdy elektromotor nestíhá opakované řazení. V porovnání s pneumatickým ovládáním řazení má řešení Schweinfurtu vyšší hmotnost a je méně spolehlivé.



Obrázek 7: řadicí systém FHWS Schweinfurt

PROSHIFT

Proshift je řadící mechanismus, primárně používaný na motocyklech. Jedná se o solenoid³, který využívá setrvačnosti feromagnetického jádra cívky pro řazení rychlostních stupňů. Zásadní nevýhodou systému využívajícího elektromagnety je, že řadící síla má rázový charakter. To klade vysoké nároky na nastavení času mezi sepnutím solenoidu a přerušením zapalování. V praxi se navíc ideální čas prodlevy mění dle trati a podmínek. Proto je velmi obtížné nastavit řazení tak, aby bylo spolehlivé za všech okolností. Vzhledem k vysoké hmotnosti řadící cívky je i hmotnost řešení srovnatelná s pneumatickou variantou.[5]

HYDRAULICKÉ ŘAZENÍ

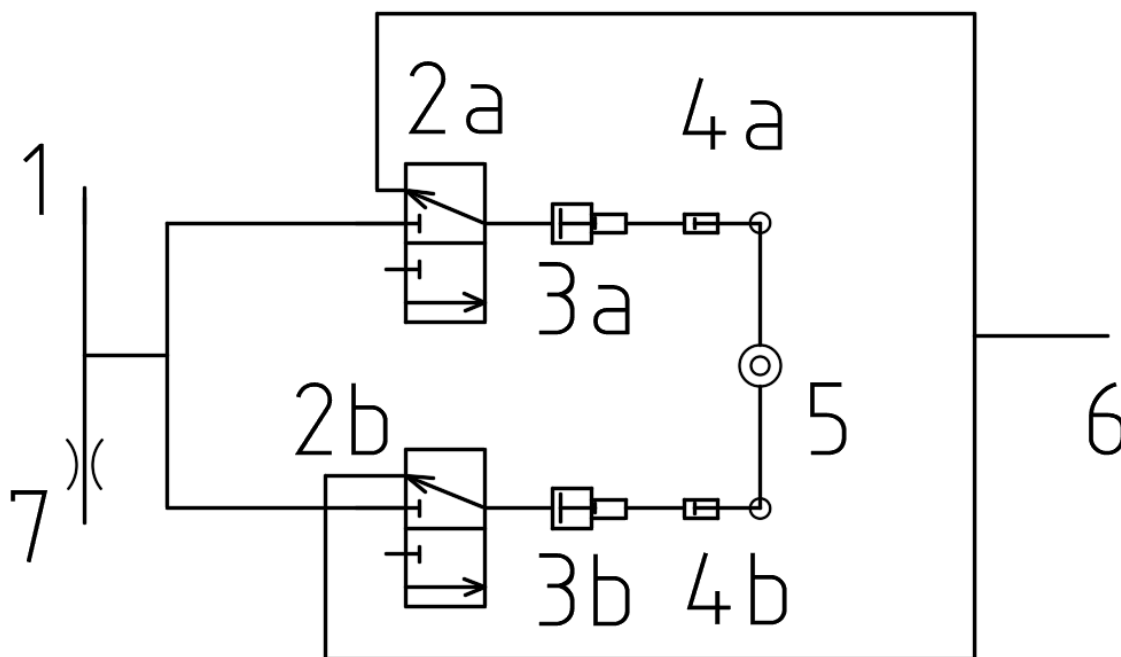
Hydraulické řazení je ve Formuli Student využíváno poměrně často. Jako pracovní kapalina je využíván olej z mazacího okruhu motoru. Pro správnou funkci řazení je třeba ověřit, zda má mazací čerpadlo dostatečnou kapacitní rezervu a uvažovat, zda je mazací tlak dostatečný pro ovládání hydrauliky řazení.

³ Při změně napětí vytváří solenoid magnetické pole. [15]

3 NÁVRH OVLÁDÁNÍ ŘAZENÍ

Pro návrh ovládání řazení byl zvolen hydraulický systém s ohledem na zástavbové rozměry a možnost napojení na mazací čerpadlo okruhu turbodmychadla, které má dostatečnou kapacitní rezervu.

3.1 SCHÉMA SYSTÉMU



Obrázek 8: schéma hydraulického okruhu řazení

Systém obsahuje dva ventily (2a, 2b) napojené na tlakový okruh čerpadla (1). Tlakový olej, který přivádí ventil, je znásoben v násobiči tlaku (3a, 3b), který zajistí dostatečný tlak pro řazení rychlostních stupňů. Na pístu (4a, 4b) je umístěno rameno, které otáčí řadicím segmentem (5).

V klidové poloze jsou ventily uzavřené a olej je přepouštěn zpět do převodové skříně. V momentu zařazení je jeden z ventilů aktivován, čímž se přivede tlakový olej na násobič tlaku. Znásobený tlak je přiveden na píst, jehož pohybem dojde k pootočení segmentu a tím pádem i zařazení. Po ukončení řazení se ventil deaktivuje a olej je vytlačen pružinou řadicího mechanismu do prostoru převodovky (6). Pozice 7 pak znázorňuje škrtící ventil, který redukuje tlak řadicího systému na tlak, požadovaný mazacím okruhem turbodmychadla.

3.2 ŘADICÍ SÍLA

Řadicí síla vychází ze síly, kterou řadil pneumatický válec. Tato síla byla dostatečná pro spolehlivé řazení, a proto bude sloužit jako návrhová síla pro výpočet hydraulického okruhu.

Maximální řadicí sílu lze najít v technickém listu používaného pístu. Jedná se o FESTO DSNU 25-40-P-A.

Tabulka 4: parametry pneumatických pístů FESTO [6]

Síly [N] a energie nárazu [J]	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63
Ø pístu										
teoretická síla při 6 barech, pohyb vpřed	30	47	68	121	189	295	483	753	1178	1870
teoretická síla při 6 barech, pohyb vzad	23	40	51	104	158	247	415	633	990	1682
energie nárazu v koncových polohách pro tlumení p ¹)	0,03	0,05	0,07	0,15	0,20	0,30	0,40	0,70	1,00	1,30

Teoretická síla pohybu vpřed je tedy 295 N a při pohybu vzad 247 N (uvažuji $F_{vz} = 247 \text{ N}$). Tato síla působí na řadicí páce s ramenem 52 mm. [6]

$$M = F_{vz} r_{páky} \quad (4)$$

$$M = 12,7 \text{ Nm} \quad (5)$$

Moment, který je třeba vyvinout pro zařazení je tedy 12,7 Nm.

3.2.1 PROVOZNÍ KAPALINA A TLAK

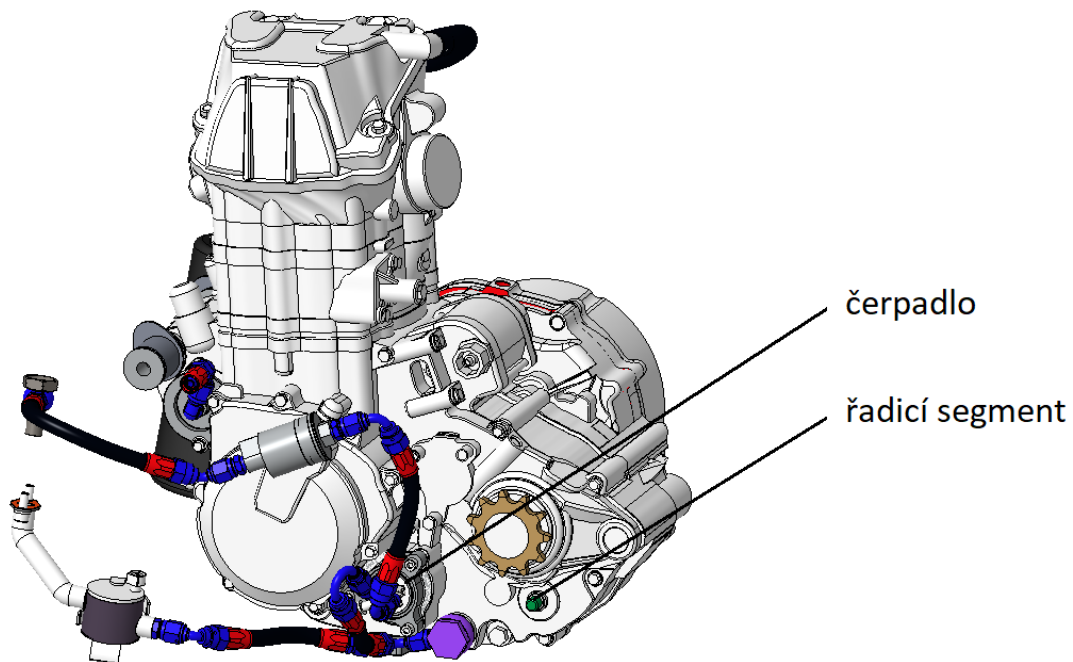
Pro hydraulický okruh bude využit motorový olej 10W-60, který slouží pro mazání motoru a turbodmychadla. Tlak do systému dodává trochoidní⁴ čerpadlo, které má dostatečnou kapacitní rezervu, neboť je používáno pouze pro mazání turbodmychadla.



Obrázek 9: trochoidní čerpadlo

⁴ Známe také jako gerotorové čerpadlo. Jedná se o rotační čerpadlo, které vytlačuje kapalinu pomocí excentricky umístěného rotoru.

Pro potřeby hydraulických systémů je výhodné použití vyššího tlaku, než je potřeba pro mazání turbodmychadla. Bylo zvoleno nastavení regulátoru tak, aby tlak v systému byl 1 MPa. Tento tlak je však nutné omezit dále v okruhu na 0,25 MPa, pro zajištění správného mazání turbodmychadla. Redukce tlaku je dosaženo pomocí škrcení v tělese olejového filtru umístěného před turbodmychadlem.



Obrázek 10: mazací okruh turbodmychadla

Z hlediska zástavby jsou klíčové kompaktní rozměry systému. Musíme tedy zvolit vhodný poměr mezi ramenem a silou na něm působící. Na malém rameni bychom museli použít velký průměr pístu tak, aby i při zvýšeném tlaku 1 MPa byla na pístu generována síla dostatečná pro zařazení.

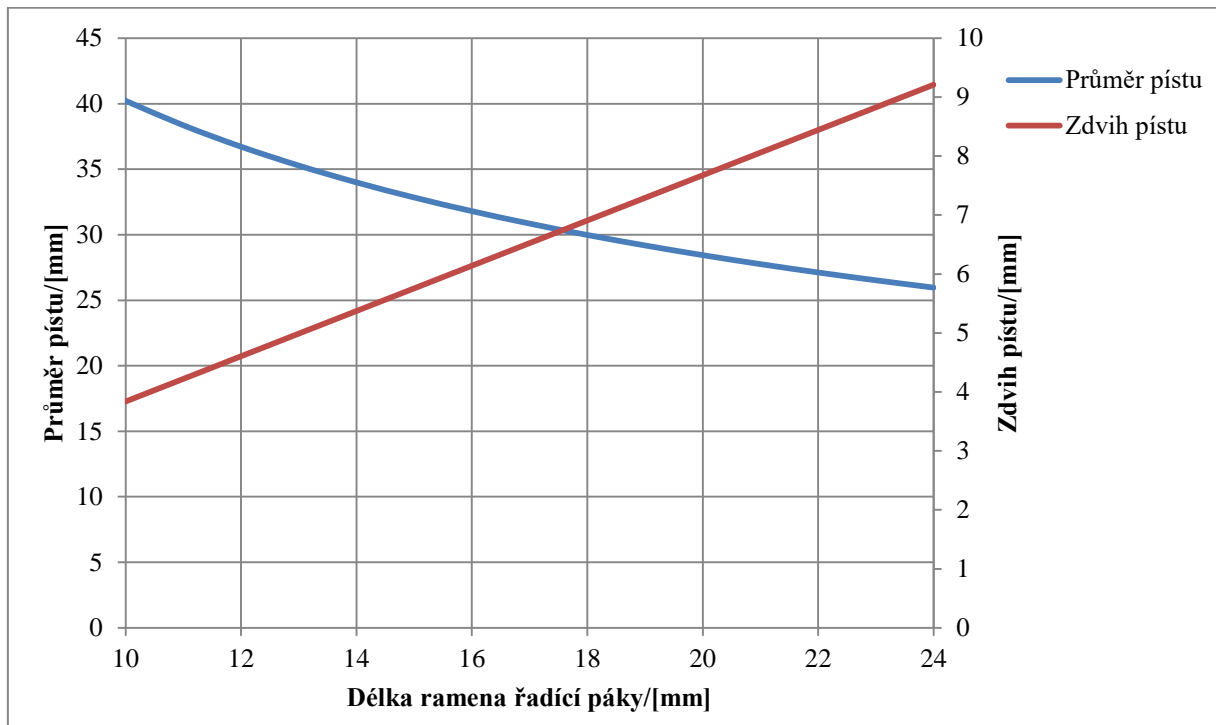
Při vstupním tlaku p_{pist_r} a průměru pístu S_{pist_r} je síla rovna:

$$F_{pist_r} = p_{pist_r} S_{pist_r} = \frac{\pi p_{pist_r} D_{pist_r}^2}{4} \quad (6)$$

Z tohoto vztahu lze vyjádřit závislost průměru pístu D_{pist_r} :

$$D_{pist_r} = \sqrt{\frac{4M}{r_{páky} \pi p_{pist_r}}} \quad (7)$$

V grafu je zobrazena závislost nutného průměru a zdvihu pístu na délce ramena řadicí páky.



Obrázek 11: závislost průměru a zdvihu pístu na délce ramena řadicí páky

S ohledem na zástavbové rozměry, musí být rameno dlouhé maximálně 23 mm. Tomu odpovídá průměr pístu 26,5 mm a zdvih 8,8 mm.

Síla, kterou musí píst působit při délce ramena 23 mm je:

$$F_{píst_r} = \frac{M}{r_{píst_r}} = \frac{12,7}{23} = 552 \text{ N} \quad (8)$$

Z důvodu zachování kompaktnosti návrhu je nutné použít násobič tlaku, neboť tlak oleje v systému je příliš nízký pro dosažení síly potřebné pro zařazení vzhledem ke zvolenému průměru řadicího pístu. Větší průměr pístu není možné použít s ohledem na zástavbový prostor.

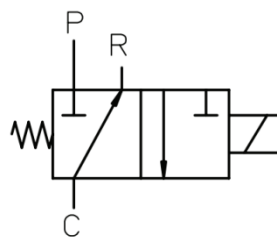
3.2.2 VENTILY

Pro řízení řazení jsou zapotřebí třicestné ventily. Abychom zachovali kompaktnost návrhu, jsou ideální volbou ventily od společnosti The Lee Company. Konkrétně typ SDBB4331003A, který vyniká rychlou odezvou, malými rozměry a nízkou hmotností:

Tabulka 5: vlastnosti ventilu SDBB4331003A [7]

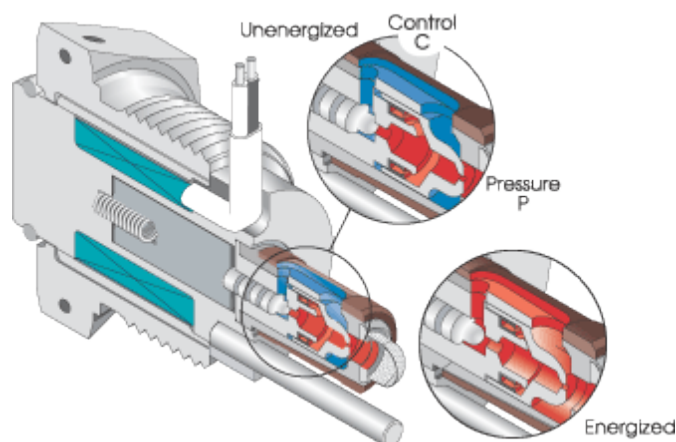
Maximální přípustný tlak	20,5 MPa
Odezva na sepnutí	0,03 s (při maximálním tlaku)
Odezva na rozepnutí	0,03 s (při maximálním tlaku)
Provozní teplota	-53 °C – 135 °C
Hmotnost	108 g
Lohmovo číslo	300

Schematická značka ventilu je:



Obrázek 12 [8]

Na obrázku označuje je znázorněn tlakový přívod P (Pressure), ovládaný vývod C (Control) a vypouštěcí vývod R (Return). Princip je přehledně představen na obrázku 13.



Obrázek 13: princip ventilu The Lee Company [7]

3.2.3 VÝPOČET PRŮTOKU VENTILEM

Pro dosažení řadicího času srovnatelného s pneumatickým systémem, je nutné ověřit průtok oleje hydraulickým systémem. Kritickým místem z hlediska průtoku je samotný ventil.

Výrobce hydraulických zařízení The Lee Company⁵ zavedl vlastní systém výpočtu tak, aby šel jednoduše definovat a měřit odpor tekutiny při průchodu součástkou. Každá součástka této společnosti má své vlastní naměřené číslo, charakterizující průtok tekutiny skrze tuto v závislosti na tlakové ztrátě, viskozitě a hustotě dané tekutiny. Toto číslo, respektive veličina má název Lohm, odvozený od názvu jednotky elektrického odporu ohm (liquid ohm – tekutinový ohm – Lohm). [9]

Pro zjištění funkční vztahy se pak používá pojem Lohmovy zákony. Výpočty budou prováděny v imperiálních jednotkách, jelikož jsou pro ně tyto zákony sestaveny. Až výsledný průtok bude převeden na jednotky metrické.

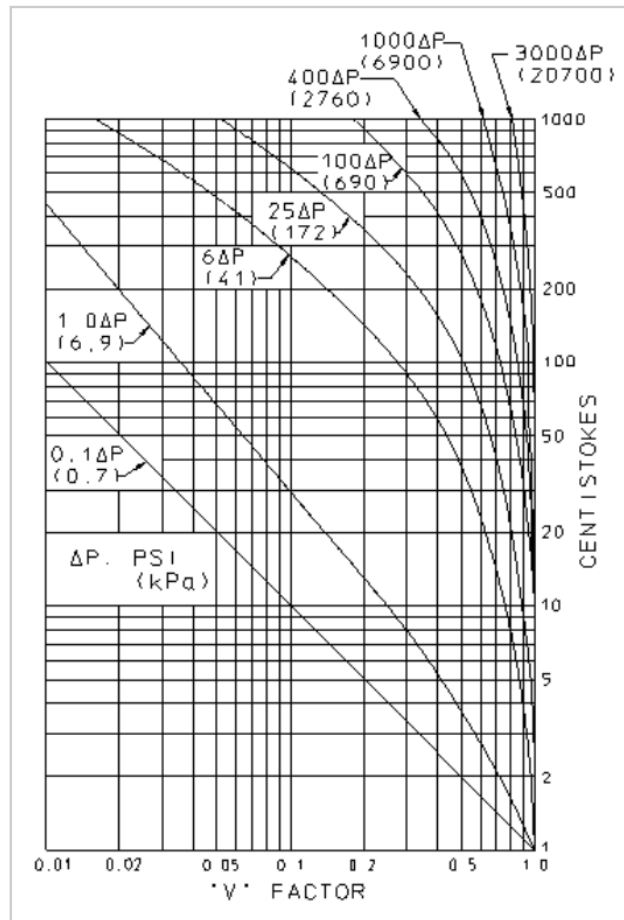
Základní vztah Lohmových zákonů je [10]:

$$H = \frac{L^2 I^2 S}{K^2 V^2} \quad (9)$$

Kde H je rozdíl tlaků před a za ventilem udávaný v psi, L je Lohmovo číslo, S je specific gravity⁶, I je průtok v galonech za minutu, K je pomocný součinitel ($K = 20$) a V je součinitel, zahrnující vliv viskozity.

⁵ Jedná se o konkurenta známější firmy Moog. Firma The Lee Company dodává své hydraulické mikrokomponty do civilních a vojenských letadel, závodních vozů nebo zdravotnictví

⁶ Poměr mezi hustotou pracovní látky a látky testovací



Obrázek 14: závislost konstanty V na viskozitě a rozdílu tlaků [11]

Při určování koeficientu V byl uvažován používaný motorový olej 10W-60 o viskozitě 27 centistokes, při 100 °C. Tlak byl opět uvažován $H = 1 \text{ MPa}$, tedy 145 psi. Koeficient V je tedy 0,85. Lohmovo číslo použitého ventilu $L = 300$ a specifická gravita motorového oleje 10W-60 $S = 0,857$. Dosazením hodnot do upraveného vzorce 9 získáváme maximální průtok při minimálním tlaku [16]:

$$I = \sqrt{\frac{HK^2V^2}{L^2S}} \quad (10)$$

$$I = 0,737 \text{ GPM} \quad (11)$$

$$I = 46\,497 \text{ mm}^3/\text{s} \quad (12)$$

3.2.4 NÁSOBIČ TLAKU

Díky násobiči tlaku bude možné celý systém lépe umístit na vozidlo. Nejdříve je třeba spočítat průměry jednotlivých pístů, aby byl násobič vyrobitelný a kompaktní.

Při návrhu je zohledněno pravidlo, které říká, že veškeré tlakové systémy, přesahující tlak 2,1 MPa musí být chráněny ocelovým krytem. Aby nebylo nutné takový kryt instalovat, byl zvolen tlak $p_{2_r} = 2 \text{ MPa}$, který se jeví jako nejvyšší přípustný.

Závislost velkého a malého průměru pístu na pracovním tlaku se dá vyjádřit z poměrů sil před a za násobičem (F_1 , respektive F_2):

$$F_{1_r} = F_{2_r} \quad (13)$$

$$p_{1_r} S_{1\text{MPa}_r} = p_{2_r} S_{2\text{MPa}_r} \quad (14)$$

Závislost velkého a malého průměru pístu násobiče na tlaku pak je:

$$\frac{p_{2\text{MPa}_r}}{p_{1\text{MPa}_r}} = \left(\frac{D_{1\text{MPa}_r}}{D_{2\text{MPa}_r}} \right)^2 \quad (15)$$

Vzhledem k dostupnosti těsnících kroužků, volíme průměr pístu násobiče na straně vyššího tlaku, $D_{2\text{MPa}_r} = 15 \text{ mm}$. Tlak před násobičem $p_{1_r} = 1 \text{ MPa}$

Z toho vyplývá, že průměr pístu $D_{1\text{MPa}_r}$, na straně nižšího tlaku, je:

$$D_{1\text{MPa}_r} = \sqrt{\frac{p_{2_r} D_{2\text{MPa}_r}^2}{p_{1_r}}} = 21,2 \text{ mm} \quad (16)$$

Volím tedy $D_{1\text{MPa}_r} = 21 \text{ mm}$.

3.2.5 PÍST

Jak vyplývá z předchozích výpočtů, píst na rameni 23 mm musí mít chod $x_{píst_r} = 8,8 \text{ mm}$. Zároveň dle rovnice 8 musí působit silou $F_{píst_r} = 552 \text{ N}$. Pro pracovní tlak $p_{2_r} = 2 \text{ MPa}$ musí být průměr pístu:

$$D_{píst_r} = \sqrt{\frac{4F_{píst_r}}{p_{2_r}\pi}} = 18,75 \text{ mm} \quad (17)$$

S ohledem na dostupnost těsnění volíme průměr pístu $D_{píst_r} = 19 \text{ mm}$.

Objem kapaliny vytlačené pístem při zařazení je:

$$V_{píst_r} = \frac{\pi D_{píst_r}^2}{4} x_{píst_r} = 2\,495 \text{ mm}^3 \quad (18)$$

3.2.6 VÝPOČET ŘADÍCIHO ČASU

Pro výpočet řadícího času určíme průtok skrze nejúžší místo, přes ventil. Ten vydělíme objemem kapaliny, jenž je třeba vytlačit přes ventil, aby píst pootočil řadicím segmentem o příslušný úhel, nutný pro zařazení.

Předpokládáme nestlačitelnou kapalinu, a proto objem vytlačený pístem $V_{píst_r}$ musí být stejný jako objem vytlačený násobičem na straně vyššího tlaku V_{2MPa_r} :

$$V_{píst_r} = V_{2MPa_r} \quad (19)$$

Vyjádřeno pomocí posuvu pístu v násobiči:

$$x_{2MPa_r} = \frac{V_{píst_r}}{S_{2MPa_r}} \quad (20)$$

Posuv pístu násobiče je pak stejný na straně vyššího i nižšího tlaku (x_{2MPa} , resp. x_{1MPa}), tedy:

$$x_{2MPa_r} = x_{1MPa_r} \quad (21)$$

Objem vytlačené kapaliny před násobičem V_{1MPa} tedy bude:

$$V_{1MPa_r} = S_{1MPa_r} x_{2MPa_r} \quad (22)$$

Po dosazení rovnice 20:

$$V_{1MPa_r} = S_{1MPa_r} \frac{V_{píst_r}}{S_{2MPa_r}} \quad (23)$$

Vyjádřeno pomocí průměrů D_{1MPa_r} a D_{2MPa_r} :

$$V_{1MPa_r} = \frac{\pi}{4} D_{1MPa_r}^2 \frac{V_{píst_r}}{\frac{\pi}{4} D_{2MPa_r}^2} \quad (24)$$

Po zkrácení a dosazení hodnot $V_{píst_r} = 2\,495\,mm^3$, $D_{1MPa_r} = 21\,mm$, $D_{2MPa_r} = 15\,mm$:

$$V_{1MPa_r} = V_{píst_r} \left(\frac{D_{1MPa_r}}{D_{2MPa_r}} \right)^2 = 4\,890,2\,mm^3 \quad (25)$$

Řadící čas, jako podíl objemu vytlačeného skrz ventil $V_{1MPa_r} = 4\,890\,mm^3$ a maximálního průtoku ventilem $I = 46\,497\,mm^3s^{-1}$:

$$t_r = \frac{V_{1MPa_r}}{I} = 105\,ms \quad (26)$$

Zpětně je také možné dopočítat posun pístu na násobiči, x_{1MPa_r} :

$$x_{1MPa_r} = \frac{V_{1MPa_r}}{S_{1MPa_r}} \quad (27)$$

Po dosazení $V_{1MPa_r} = 4\,890\,mm^3$ a $D_{1MPa_r} = 21\,mm$ je chod násobiče:

$$x_{1MPa_r} = \frac{4V_{1MPa_r}}{\pi D_{1MPa_r}^2} = 14,1\,mm \quad (28)$$

3.3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

3.3.1 VSTUPNÍ PARAMETRY

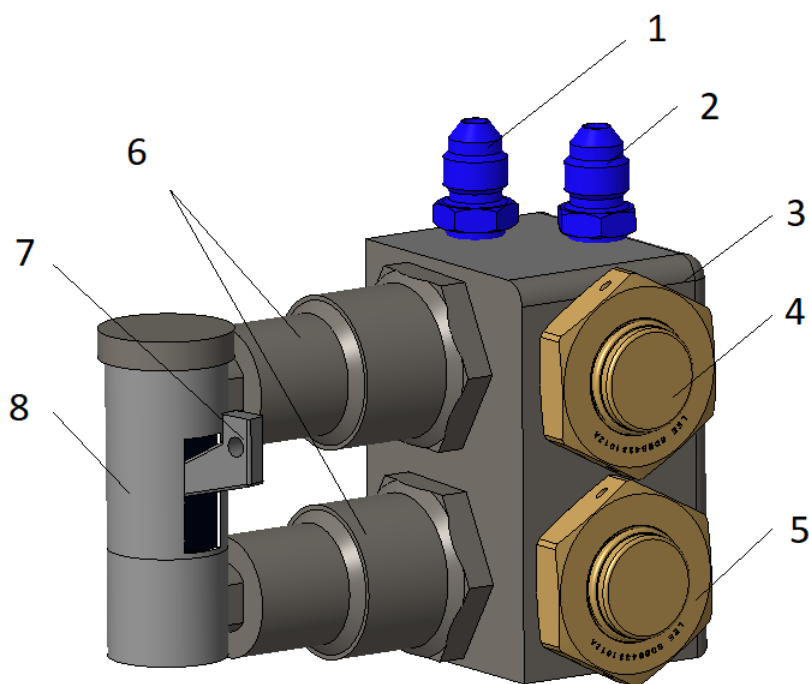
Vstupní parametry pro konstrukci, vycházející z výpočtu jsou:

Tabulka 6: konstrukční rozměry

Rozměr	Hodnota
Průměr většího pístu násobiče	21 mm
Průměr menšího pístu násobiče	15 mm
Chod násobiče	14,1 mm
Průměr řadicího pístu	19 mm
Polovina chodu řadicího pístu	8,8 mm
Rameno řadicího pístu	23 mm

V konstrukci je nutné zohlednit i předepsané připojovací rozměry ventilu, dodané výrobcem.

3.3.2 MODEL



Obrázek 15: řadicí segment

Součástí řadicího segmentu jsou: 1 – tlakový vstup, 2 – vypouštěcí výstup, 3 – pouzdro řadicího segmentu, 4, 5 – ventily, 6 – násobiče tlaku s písty, 7 – táhlo řadicího pístu, 8 – válec

3.3.3 HMOTNOST

Důležitým porovnávacím parametrem je hmotnost. V tabulce je porovnána hmotnost navrženého systému se systémem pneumatickým.

Tabulka 7: hmotnostní srovnání hydraulického a pneumatického systému řazení

Rozměr	Hodnota
Vstup a výstup	11 g
Pouzdro řadicího segmentu	298 g
Ventily	216 g
Násobiče tlaku s písty	97 g
Řadicí píst s táhlem	20 g
Řadicí válec s víkem	105 g
Hadice a spojovací materiál	75 g
Celkem	822 g
Pneumatický systém	1468 g

Hmotnost hydraulického systému je 822 g. V porovnání s pneumatickým systémem bylo ušetřeno 646 g, což představuje 44% snížení hmotnosti.

4 OVLÁDÁNÍ SPOJKY

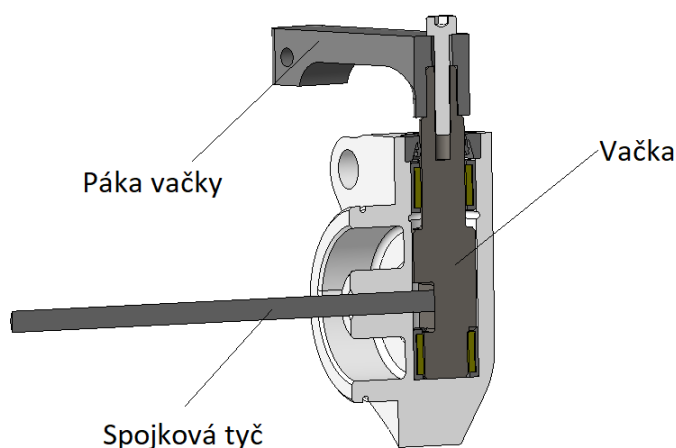
Protože se ve Formuli Student používá sekvenční převodovka, používá se spojka především při rozjíždění, případně při jízdě ve velmi nízkých rychlostech. Pro tyto účely stačí ovládání spojky pomocí páky, kterou musí ovládat řidič.

Automatické ovládání spojky umožňuje využití spojky během jízdy. A to především při podřazování, kdy spojka zaručí plynulejší srovnání otáček mezi koly a motorem. Řidič má v případě prudkého podřazování horší kontrolu nad vozidlem. Dalším problémem současného řešení je, že v případě rychlého podřazování při brzdění není řazení spolehlivé, neboť je převodovka zatížena silou od zadních brzd i od motoru současně. Vyřešení problému při podřazování by zlepšilo ovladatelnost vozidla. To by znamenalo rychlejší průjezd zatáčkou.

Automatické ovládání spojky lze využít i pro kontrolu momentu, který jde na kola při akceleraci vozidla. Především pak při kontrole trakce, v disciplíně akcelerační, kdy by bylo možné kontrolovat prokluz kol v prvních metrech po startu.

4.1 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ

Ovládání na voze Dragon 7 bylo řešeno pomocí vačkového mechanismu, který představovala hřídel s vybráním. Tato hřídel tlačila na spojkovou tyč, která rozpírá samotné lamely spojky.



Obrázek 16: ovládání spojky Dragon 7

Tabulka 8: hmotnost spojkového systému Dragon 7

Prvek systému	Hmotnost
Víčko spojky	52 g
Váčkový mechanismus	53 g
Spojková páka s uchycením	97 g
Hmotnost lanka s bowdenem a držáky	245 g
Celkem	447 g

4.1.1 VÝHODY A NEVÝHODY STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ

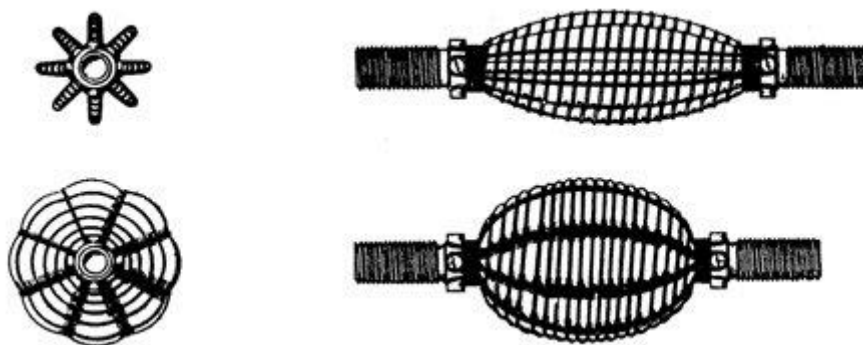
Výhoda ovládání spojky pomocí vačkového mechanismu spočívá v jednoduchosti celého systému a nízké hmotnosti. Nevýhodou tohoto řešení je, že neumožňuje automatické ovládání spojky.

4.1.2 VYUŽÍVANÁ ŘEŠENÍ VE FORMULI STUDENT

PNEUMATICKÉ OVLÁDÁNÍ SPOJKY

Pražský tým Formule Student působící na ČVUT využívá ke spínání spojky pneumatického svalu, který je napojen přes převodové ústrojí na táhlo spojky.

Pneumatický sval má velkou výhodu v poměru mezi vlastní hmotností a silou. Má nízkou spotřebu plynu a plynulý přechod v krajních polohách. Naopak nevýhodou je, že dokáže působit silou pouze v jednom směru (kontrakce svalu) a že rychlý nárůst tlaku může způsobit prasknutí. Další nevýhodou je stlačitelnost vzduchu, která komplikuje řízení spojky při rozjezdu. Proto je vůz CTU vybaven ještě ručním ovládáním spojky. Pneumatický sval je tak využíván pouze při podřazování. [12]



Obrázek 17: ovládání spojky pražské formule [12]

HYDRAULICKÉ OVLÁDÁNÍ SPOJKY

Hydraulické ovládání spojky je ve Formuli Student běžným řešením. Často se jedná o převzetí motocyklového řešení, kde řidič pomocí stlačení páky generuje tlak. Ten pak rozeprve spojku. Toto řešení nabízí citlivé ovládání díky malé síle nutné k ovládání. Stále se však jedná o systém, který je plně mechanický a neumožňuje automatické řízení.

Další možností je, využít hydraulické ovládání k automatickému ovládání spojky pomocí proporcionálního ventilu.

5 NÁVRH OVLÁDÁNÍ SPOJKY

Vzhledem k plánovanému využití hydraulického řazení se nabízí možnost využít tlakového oleje pro ovládání spojky, které bude součástí systému hydraulického řazení.

5.1 OVLÁDACÍ SÍLA

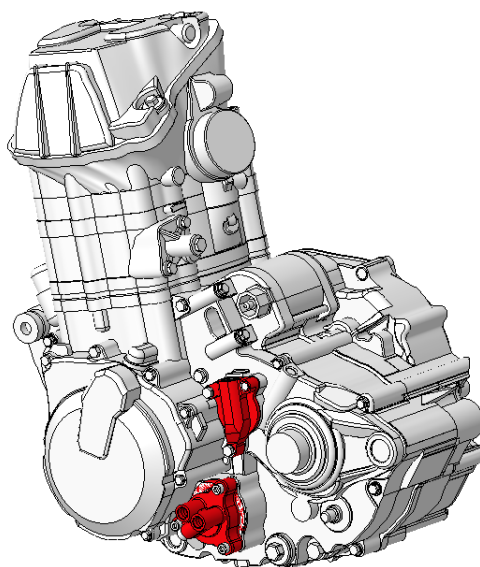
Návrhová síla působící na spojku je $F_{spojky} = 2000 \text{ N}$. Ta vychází z návrhu předpětí pružin ve spojce, které byly navrženy pro použití s přeplňovaným motorem. [13]

V rámci zjednodušení výroby je výhodné počítat s využitím sériového ovládání spojky, které je spolehlivé a má nízkou hmotnost. Ve víčku spojky se nachází píst o průměru $D_{spojky} = 27 \text{ mm}$.

Pracovní tlak v hydraulickém okruhu spojky je přibližně 3,5 MPa, což bylo ověřeno měřením, kdy se tlak v hydraulickém okruhu spojky pohyboval mezi 3,3 až 3,6 MPa. Tato data vychází z předchozích let, kdy se používalo hydraulické ovládání spojky pomocí páky. Dalším důležitým parametrem je chod přitlačného talíře spojky, který je nutné dodržet. Tento chod je $x_{spojka} = 1,6 \text{ mm}$ a vychází ze sériového řešení. V případě příliš velkého chodu hrozí vyskočení lamely ze spojkového koše, v případě malého chodu nemusí dojít ke spolehlivému rozeptnutí spojky. [14]

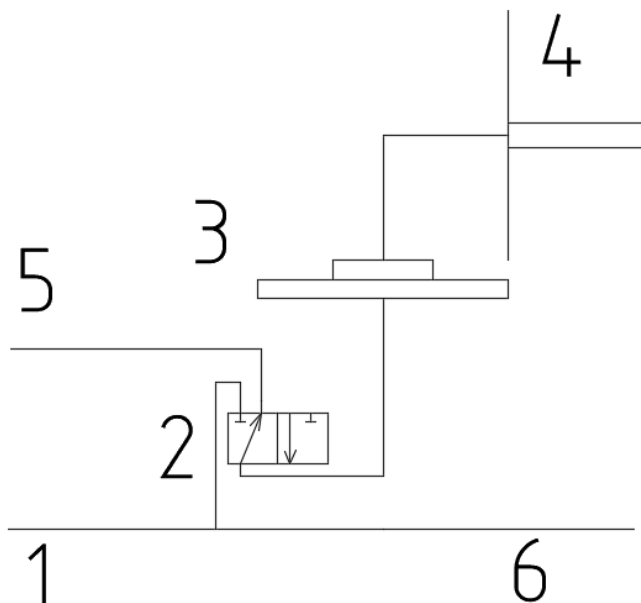
5.1.1 PROVOZNÍ KAPALINA A TLAK

Stejně jako v případě ovládání řazení, bude u ovládání spojky využito čerpadla mazacího okruhu turbodmychadla. Ovládání spojky je opět v jeho bezprostřední blízkosti, jak je zobrazeno na obrázku 18. Tlak v hydraulickém systému je vzhledem k použití hydraulického řazení 1 MPa. Pracovní tlak, potřebný pro ovládání spojky je 3,5 MPa. Proto je nutné i v případě ovládání spojky použít tlakový násobič.



Obrázek 18: umístění víčka spojky a čerpadla na motoru

5.2 SCHÉMA SYSTÉMU OVLÁDÁNÍ SPOJKY



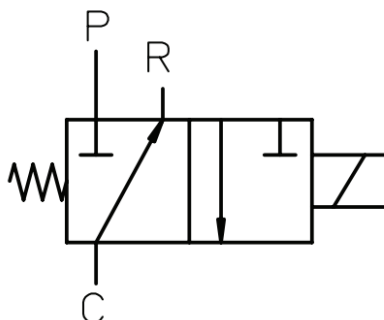
Obrázek 19: schéma ovládání spojky

System je napojen na okruh mazání turbodmychadla (1, 6) pomocí třicestného ventilu (2). Tento ventil řídí přenos tlaku na spojkový píst (4) přes násobič tlaku (3). Vypouštěcí kanál (5) ústí do prostoru převodovky a lze pomocí něj tlak uvolnit. Ventil bude ovládán pomocí PWM⁷ signálu, aby bylo možné plynule regulovat sepnutí spojky. To bude využito především u kontroly trakce při akceleraci.

⁷ PWM – Pulse Width Modulation, díky PWM signálu lze digitálně přenášet analogový signál.

5.2.1 TŘÍCESTNÝ VENTIL

Nejvhodnějším třícestným ventilem pro použití na vozidle je ventil od firmy The Lee Company, SDBB4331003A A. Jedná se o stejný ventil jako na ovládání řazení. To je výhodné z hlediska kompatibility náhradních dílů. Schematická značka je:

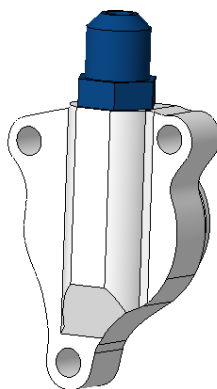


Obrázek 20: schematická značka ventilu SDBB4331003A[7]

Na obrázku označuje je znázorněn tlakový přívod P (Pressure), ovládaný vývod C (Control) a vypouštěcí vývod R (Return).

5.2.2 VÍČKO SPOJKY

Píst ovládání spojky je použit ze sériového motoru. Jedná se o spolehlivý díl, který není třeba nahrazovat.



Obrázek 21: víčko spojky

5.2.3 NÁSOBIČ TLAKU

Vzhledem k nízkému tlaku čerpadla je nutné spočítat průměry převodníku tlaku tak, aby byl regulovaný tlak $p_{1_s} = 1 \text{ MPa}$ převeden na tlak $p_{2_s} = 3,5 \text{ MPa}$, který je dostatečný pro ovládání spojky.

Síla na obou stranách násobiče je stejná.

$$F_{1\text{MPa}_s} = F_{3,5\text{MPa}_s} \quad (29)$$

Vyjádřeno jako podíl tlaků:

$$\frac{p_{1_s}}{p_{2_s}} = \frac{S_{3,5\text{MPa}_s}}{S_{1\text{MPa}_s}} \quad (30)$$

Po úpravě:

$$\frac{p_{1_s}}{p_{2_s}} = \left(\frac{D_{3,5\text{MPa}_s}}{D_{1\text{MPa}_s}} \right)^2 \quad (31)$$

Z důvodu zástavbových rozměrů volím $D_{3,5\text{MPa}_s} = 10 \text{ mm}$. Pak po úpravě vychází:

$$D_{1\text{MPa}_s} = \sqrt{\frac{p_{2_s} D_{3,5\text{MPa}_s}^2}{p_{1_s}}} = 18,7 \text{ mm} \quad (32)$$

Průměr pístu z hlediska vyrobiteľnosti byl zvolen $D_{1\text{MPa}_s} = 18,5 \text{ mm}$.

Získali jsme tedy rozměry pístu, na jejichž základě lze dopočítat nutný chod spojky. Pro zjednodušení výpočtu budeme předpokládat nestlačitelnou kapalinu a tedy i to, že objem kapaliny mezi písty se nemění.

Pro chod pístu je zásadním údajem nutný chod spojky $x_{spojky} = 1,6 \text{ mm}$. Píst na spojce má průměr $D_{spojky} = 27 \text{ mm}$.

Objem kapaliny, který je potřeba vytlačit, je stejný na spojce i na vysokotlakém pístu násobiče, tedy:

$$V_{3,5\text{MPa}_s} = V_{spojky} \quad (33)$$

Tedy:

$$V_{3,5\text{MPa}_s} = x_{spojky} \frac{\pi D_{spojky}^2}{4} \quad (34)$$

Chod pístu násobiče je po úpravě:

$$x_{3,5MPa_s} = x_{spojky} \left(\frac{D_{spojky}}{D_{3,5MPa}} \right)^2 = 11,6 \text{ mm}$$

5.2.4 RYCHLOST REAKCE SPOJKY

Na základě vypočteného chodu lze zjistit rychlost reakce spojky. Nejdříve je třeba vypočítat objem kapaliny, který musí protéct přes ventil:

$$V_{1MPa_s} = \frac{\pi D_{1MPa_s}^2 x_{3,5MPa_s}}{4} = 3\,118 \text{ mm}^3 \quad (35)$$

Průtok skrze ventil je stejný jako v případě řazení převodových stupňů, protože je využívána stejná pracovní kapalina, stejný tlak i typ ventilu. Průtok ventilem $I = 46\,497 \text{ mm}^3 \text{ s}^{-1}$

Čas odezvy spojky je:

$$t_s = \frac{V_{1MPa_s}}{I} = 67 \text{ ms} \quad (36)$$

Čas odezvy spojky je 67 ms.

5.3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

5.3.1 ZADANÉ PARAMETRY

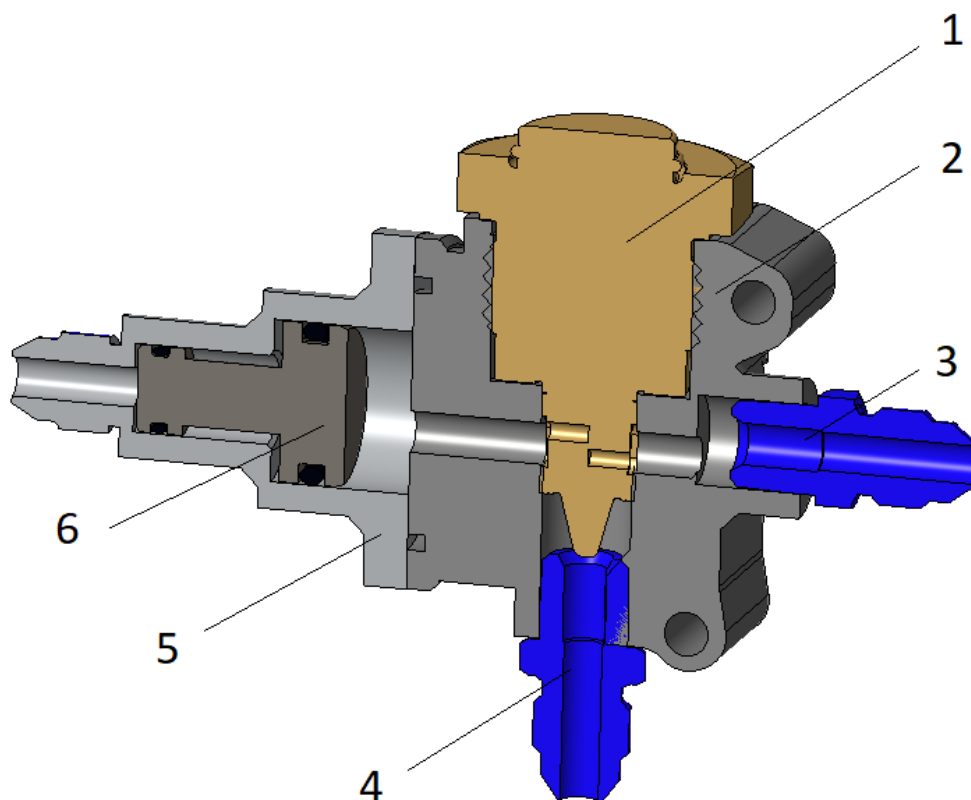
Konstrukční návrh vychází z vypočtených hodnot:

Tabulka 9: konstrukční rozměry ovládání spojky

Rozměr	Hodnota
Průměr menšího pístu násobiče	10 mm
Průměr většího pístu násobiče	18,5 mm
Chod násobiče	11,6 mm

Dále musely být zachovány připojovací rozměry ventilu, předepsané výrobcem.

5.3.2 MODEL



Obrázek 22: segment ovládání spojky

Segment ovládání spojky se skládá z: 1 – ventil, 2 – pouzdro, 3 – vypouštěcí výstup, 4 – tlakový vstup, 5 – pouzdro tlakového násobiče, 6 – píst tlakového násobiče.

5.3.3 HMOTNOST

Důležitým porovnávacím měřítkem je hmotnost. V tabulce je porovnána hmotnost navrženého systému s ovládáním spojky pomocí vačky.

Tabulka 10: hmotnostní srovnání hydraulického a vačkového mechanismu ovládání spojky

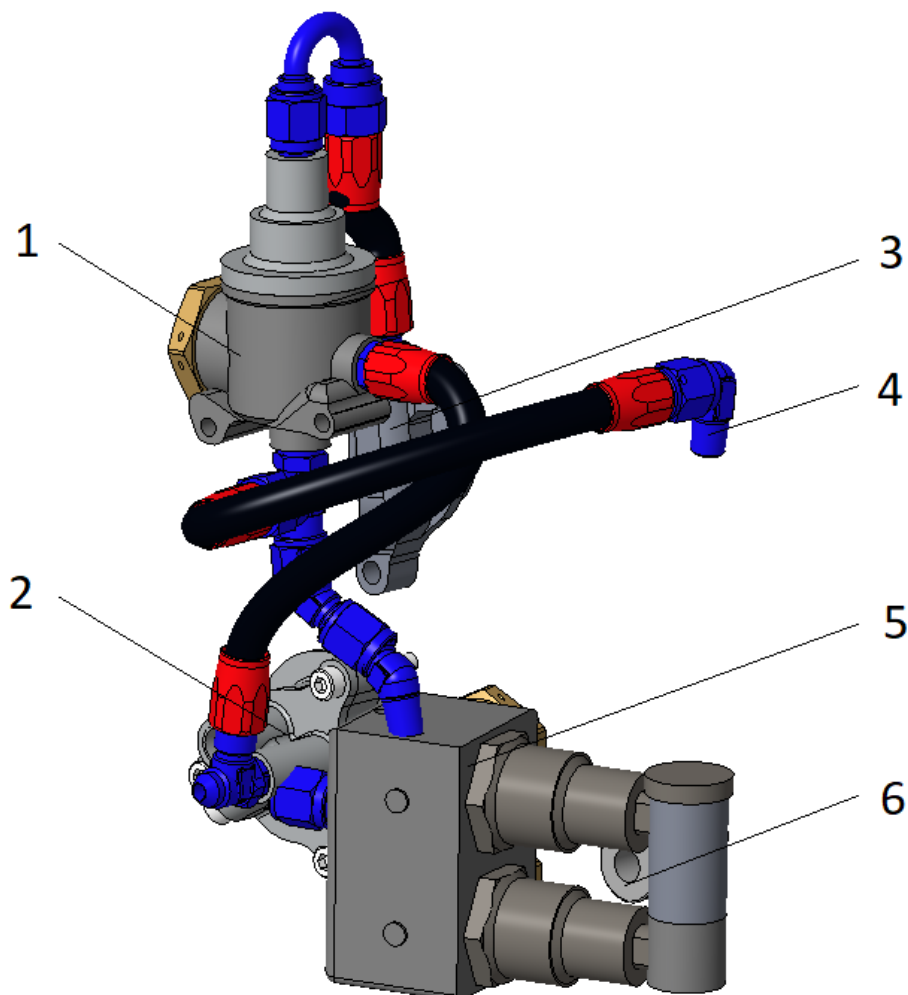
Součást	Hmotnost
Ventil	108 g
Pouzdro	108 g
Vstup a výstup	11 g
Pouzdro tlakového násobiče	40 g
Píst tlakového násobiče	19 g
Hadice a zapojení do systému	165 g
Celkem	451 g
Ovládání pomocí vačky	447 g

Výsledná hmotnost hydraulického ovládání spojky je srovnatelná s vačkovým mechanismem.

6 UMÍSTĚNÍ SYSTÉMŮ NA VOZIDLE

6.1 PROPOJENÍ SYSTÉMŮ

Ovládání řazení i spojky jsou na vozidle umístěny v těsné blízkosti od sebe, Proto využívají společného odtoku do převodovky.

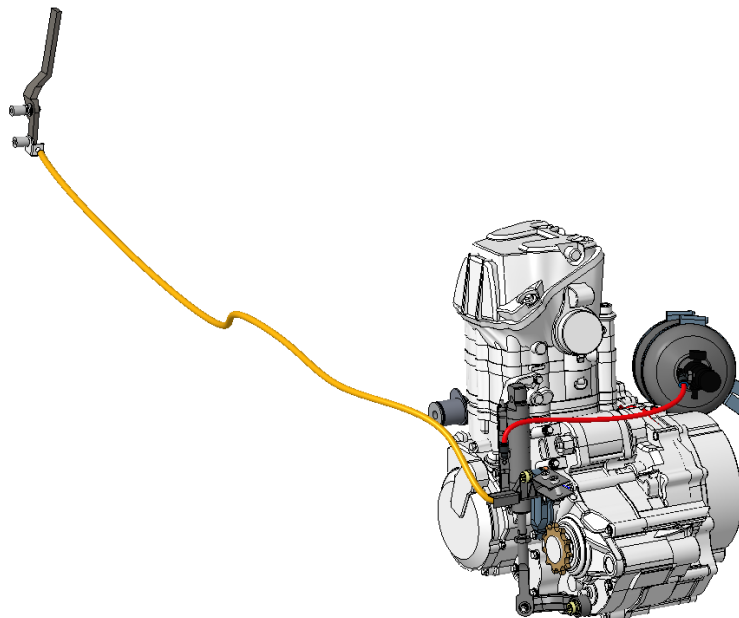


Obrázek 23: hydraulické ovládání řazení a spojky

Na obrázku lze vidět společné zapojení obou systémů a jejich napojení na mazací okruh:
1 – segment ovládání spojky, 2 – čerpadlo, 3 – víčko spojky, 4 – odtok do převodové skříně,
5 – řadicí segment, 6 – řadicí páka

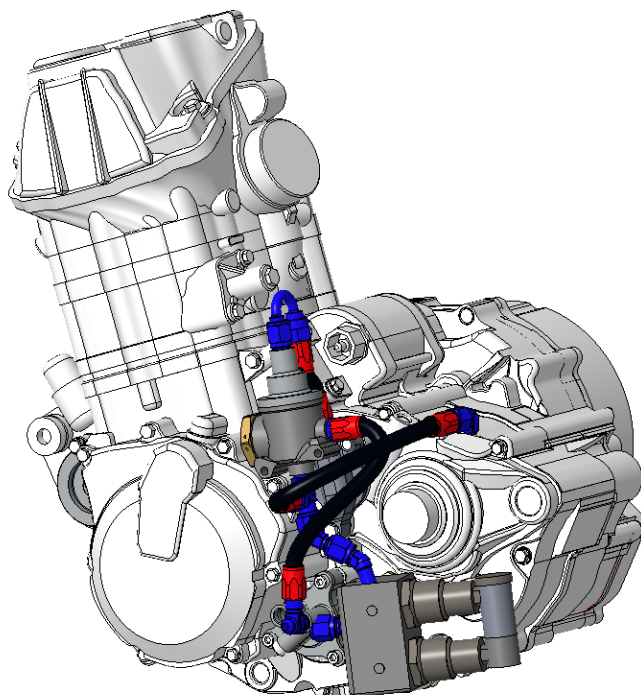
6.2 POROVNÁNÍ ZÁSTAVBY SYSTÉMU

Dohromady vážilo ovládání řazení a ovládání spojky 1 915 g. Tlaková lahev byla umístěna v pravé části vozidla.



Obrázek 24: původní zástavbový prostor

Nový systém má hmotnost 1 170 g. Zároveň je kompaktnější.



Obrázek 25: umístění obou systémů na vozidle

6.3 POROVNÁNÍ HMOTNOSTÍ SYSTÉMU

Důležitým kritériem je porovnání hmotnosti navrhovaného systému se systémem použitým na loňském modelu Dragon 7 (pneumatické řazení a vačkový mechanismus ovládání spojky).

Tabulka 11: porovnání hydraulického systému s předchozím řešením:

	Hydraulika	Dragon 7
Řazení převodových stupňů	822 g	1468 g
Ovládání spojky	451 g	447 g
Celkem	1273 g	1855 g

Použitím hydraulického ovládání řazení a spojky lze ušetřit 582 g, což představuje 31% snížení hmotnosti.

ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byla provedena studie hydraulického ovládání řazení převodových stupňů a spojky. V rámci návrhu bylo dosaženo zásadní redukce hmotnosti systému řazení a ovládání spojky.

Hmotnost navrženého ovládání řazení převodových stupňů a ovládání spojky je 1 273 g. To je o 582 g (31 %) méně, než je hmotnost pneumatického systému používaného na vozidle. Hydraulický systém je zároveň výhodný i z hlediska zástavbových rozměrů.

Řadící čas hydraulického systému 105 ms je plně srovnatelný s časem řazení pneumatického systému (kolem 100 ms). Hydraulické ovládání spojky zároveň nabízí širší možnosti využití spojky v různých jízdních režimech. Důležitou oblastí je zlepšení stability vozidla při podřazování a možnost lépe řídit spojku při rozjezdu vozidla.

Limitujícím faktorem, kvůli kterému nedošlo k realizaci řešení je finanční náročnost uvedeného řešení. Vybrané ventily jsou používány ve vozech Formule 1 a letectví, čemuž odpovídá jejich cena, kdy každý z použitých ventilů stojí 2 735 €. Při řešení práce se nepodařilo najít cenově dostupnější alternativu k výše uvedeným ventilům. Průmyslové ventily nevyhovují z hlediska svých zástavbových rozměrů a hmotnosti, která je jedním z klíčových prvků celého návrhu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] History of Formula Student. Institution of Mechanical Engineers - IMechE [online]. Copyright © 2016 Institution of Mechanical Engineers. IMechE is a registered charity in England and Wales number 206882 [cit. 12.03.2018]. Dostupné z: <https://www.imeche.org/events/formula-student/about-formula-student/history-of-formula-student>
- [2] Formula Student Germany – Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Formula_Student_Germany
- [3] Formula Student Germany: Autonomous Driving at Formula Student Germany 2017. Formula Student Germany: fs-germany.org[online]. Dostupné z: <https://www.formulastudent.de/pr/news/details/article/autonomous-driving-at-formula-student-germany-2017/>
- [4] Formula Student Germany: fs-germany.org [online]. Copyright © [cit. 12.03.2018]. Dostupné z: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf
- [5] Proshift - Quickshifter. In: Proshift [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.proshift.com/proshift_quickshifters
- [6] Kruhové válce DSNU/DSNUP/DSN/ESNU/ESN FESTO [online]. In: . [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DSNU_CZ.PDF
- [7] 3-Way High Flow Solenoid Valve [online]. In: [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://leecat.theleeco.com/ecatalog/piloting-solenoid-valves/en/SDBB4331003A>
- [8] SDBB4331003A [online]. In: [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [http://www.theleecocad.com/aeropdf.nsf/bdb21d9b7952d46a85256a400071dc4c/34ad54900a09b0d485257bcc004b40c4/\\$FILE/SDBB4331003A.pdf](http://www.theleecocad.com/aeropdf.nsf/bdb21d9b7952d46a85256a400071dc4c/34ad54900a09b0d485257bcc004b40c4/$FILE/SDBB4331003A.pdf)
- [9] LOHM DEFINITION [online]. In: . [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.theleeco.com/engineering/lohm-definition.cfm>
- [10] Liquid Flow Lohm Laws [online]. In: . [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.theleeco.com/engineering/liquids/how-to-calculate-flow-resistance-for-liquids.cfm>
- [11] VISCOSITY CORRECTION FACTOR [online]. In: . [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.theleeco.com/engineering/liquids/viscosity-correction-factor-single-orifice.cfm>
- [12] Analýza provedení ovládání spojky na voze kategorie Formule Student. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ.
- [13] DRBAL, M. Spojka vozu Formule Student Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 43 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Janoušek.

- [14] FANTA, T. Převodové ústrojí vozu Formula Student Dragon 7. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Svída, Ph.D.
- [15] SMEJKAL, Jan, Miloš HAMMER, Bohumil KUDLÁČ, Jan KUNČÍK, Jaroslav NOSEK, Milan PAVLÁK, Vladislav SINGULE a Bohumil ŠPAČEK. Elektrotechnika. Brno: VUT Brno, 1991, 254 s. ISBN 80-214-0388-8
- [16] Quartz Racing 10W-60 Data Sheet [online]. In: . [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www4.total.fr/asia-oceania/malaysia/ProductData/B2C/PCMO%201/Q%20Racing%2010W60/QUARTZ%20RACING%20SN%2010W-60-msds.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_{segm}	[mm]	Vzdálenost řadicího válce od řadicího segmentu
D_{1MPa_r}	[mm]	Průměr většího pístu násobiče řadicího systému
D_{1MPa_s}	[mm]	Průměr většího pístu násobiče ovládání spojky
D_{2MPa_r}	[mm]	Průměr menšího pístu násobiče řadicího systému
$D_{3,5MPa_s}$	[mm]	Průměr menšího pístu násobiče ovládání spojky
D_{klec}	[mm]	Průměr klece řadicího válce
$D_{píst\ r}$	[mm]	Průměr pístu ovládání řazení
D_{spojky}	[mm]	Průměr pístu víčka spojky
F_{1_r}	[N]	Síla většího pístu na násobiči řadicího systému
F_{1_s}	[N]	Síla většího pístu na násobiči ovládání spojky
F_{2_r}	[N]	Síla menšího pístu na násobiči řadicího systému
F_{2_s}	[N]	Síla menšího pístu na násobiči ovládání spojky
$F_{píst\ r}$	[N]	Síla na pístu ovládání řazení
F_{spojky}	[N]	Ovládací síla spojky
F_{vz}	[N]	Síla na pneumatickém pístu
H	[psi]	Rozdíl tlaků před a za ventilem
I	[GPM]/[mm ³ /s]	Průtok ventilem
K	[-]	Pomocný součinitel
L	[-]	Lohmovo číslo
M	[Nm]	Moment na řadicím segmentu potřebný k přeřazení
p_{1_r}	[MPa]	Nižší tlak na násobiči řadicího systému
p_{1_s}	[MPa]	Nižší tlak na násobiči ovládání spojky
p_{2_r}	[MPa]	Vyšší tlak na násobiči řadicího systému
p_{2_s}	[MPa]	Vyšší tlak na násobiči ovládání spojky
$p_{píst\ r}$	[MPa]	Tlak na pístu ovládání řazení
$p_{pracovní\ s}$	[MPa]	Pracovní tlak ovládání spojky
$r_{páky}$	[mm]	Délka ramena řadicí páky
$r_{píst\ r}$	[mm]	Rameno, na kterém působí píst ovládání řazení
S	[-]	Specific gravity
S_{1MPa_r}	[mm ²]	Plocha většího pístu násobiče řadicího systému
S_{1MPa_s}	[mm ²]	Plocha většího pístu násobiče ovládání spojky
S_{2MPa_r}	[mm ²]	Plocha menšího pístu násobiče řadicího systému

$S_{3,5MPa_s}$ [mm ²]	Plocha menšího pístu násobiče ovládání spojky
$S_{píst\ r}$ [mm ²]	Plocha pístu ovládání řazení
S_{spojky} [mm ²]	Plocha pístu víčka spojky
V [-]	Součinitel viskozity
V_{1MPa_r} [mm ³]	Objem vytlačený větším pístem násobiče řadicího systému
V_{1MPa_s} [mm ³]	Objem vytlačený větším pístem násobiče ovládání spojky
$V_{3,5MPa_r}$ [mm ³]	Objem vytlačený menším pístem násobiče řadicího systému
$V_{3,5MPa_s}$ [mm ³]	Objem vytlačený menším pístem násobiče ovládání spojky
x_{1MPa_r} [mm]	Posunutí většího pístu násobiče řadicího systému
x_{1MPa_r} [mm]	Posunutí menšího pístu násobiče řadicího systému
x_{1MPa_s} [mm]	Posunutí většího pístu násobiče ovládání spojky
x_{1MPa_s} [mm]	Posunutí menšího pístu násobiče ovládání spojky
x_{2MPa_r} [mm]	Posunutí menšího pístu násobiče řadicího systému
x_{2MPa_r} [mm]	Posunutí většího pístu násobiče řadicího systému
$x_{3,5MPa_s}$ [mm]	Posunutí menšího pístu násobiče ovládání spojky
$x_{3,5MPa_s}$ [mm]	Posunutí většího pístu násobiče ovládání spojky
x_{spojky} [mm]	Chod spojky
$x_{vz\ pístu}$ [mm]	Délka dráhy pneumatického pístu
φ_{rv} [°]	Úhel otočení řadicího válce
φ_{segm} [°]	Úhel natočení řadicího segmentu